

Fontenay-aux-Roses, le 18 juillet 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2014-00270

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF - Corrosion du Zircaloy-4 - Mesures prises en exploitation par EDF pour limiter les possibilités d'apparition ou les conséquences d'une éjection de grappe

Réf. Lettre ASN CODEP-DCN-2014-019016 du 6 mai 2014

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'acceptabilité et sur le caractère suffisant au plan de la sûreté des mesures compensatoires prises par EDF pour limiter les possibilités d'apparition ou les conséquences d'un accident d'éjection de grappe lorsque des crayons de combustible gainés en Zircaloy-4 sont présents dans le cœur d'un réacteur et présentent une épaisseur de corrosion comprise entre 80 µm et 108 µm.

Au cours de l'irradiation des crayons de combustible, le gainage s'oxyde. Une phase d'accélération de la corrosion, au cours de laquelle l'épaisseur d'oxyde de zirconium (ou zircone) augmente rapidement avec l'irradiation, peut exister, notamment pour les crayons à gainage en Zircaloy-4. Lors de l'examen visuel de certains crayons fortement oxydés, un phénomène de desquamation¹ de la couche d'oxyde a été observé. La desquamation du gainage est susceptible d'avoir un impact sur la démonstration de sûreté, notamment dans le cas d'une éjection de grappe (EDG), qui est un accident de référence de quatrième catégorie. En effet, la desquamation crée un point froid à la surface de la gaine (par opposition aux zones où l'effet d'isolation thermique de la couche d'oxyde rend la température de gaine plus élevée) et entraîne, en fonctionnement normal, la précipitation d'hydrures dans celle-ci. Ce phénomène fragilise la gaine et au cours d'une EDG, l'insertion violente de réactivité entraîne une montée rapide en température de la pastille qui se dilate plus que la gaine. Ceci induit un chargement mécanique de la gaine et un risque de rupture associé. La présence d'hydrures fragilisant la gaine, celle-ci peut donc rompre prématurément dans cette situation. L'IRSN rappelle qu'en cas de rupture de gaine les fragments de combustible chauds sont susceptibles d'être éjectés dans l'eau du circuit primaire. L'interaction entre ces fragments chauds et l'eau peut générer une onde de pression et vaporiser l'eau autour de la zone d'éjection. Ces phénomènes peuvent endommager à leur tour les crayons voisins et *in-fine* mettre en péril la refroidissabilité du cœur, voire créer des dommages à la deuxième barrière (circuit primaire principal).

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

¹ La desquamation correspond à la perte localisée d'une partie de la couche d'oxyde se formant à la surface du crayon au cours de l'irradiation.

L'ASN a demandé à EDF d'élaborer une nouvelle démonstration de sûreté prenant en compte les risques de desquamation des gaines de crayons de combustible en Zircaloy-4 et de mettre à jour les rapports de sûreté des différents réacteurs concernés. Dans l'attente de cette démonstration de sûreté, l'ASN a demandé à EDF de mettre en place sur les réacteurs concernés des mesures compensatoires visant :

- soit à limiter l'épaisseur maximale de corrosion des gaines en Zircaloy-4 des crayons de combustible dans les réacteurs en fonctionnement à une valeur permettant de négliger les phénomènes de desquamation qui sont observés à partir de 80 μm en valeur moyenne azimutale ;
- soit à respecter la valeur limite de 108 μm d'épaisseur de corrosion (en valeur moyenne azimutale) des gaines en Zircaloy-4 des crayons de combustible, valeur garantissant l'absence de rupture de crayons non-desquamés en cas d'EDG, et à limiter les possibilités d'apparition ou les conséquences d'un accident d'EDG dès que l'épaisseur de corrosion des crayons gainés en Zircaloy-4 dans les réacteurs en fonctionnement atteint 80 μm .

Afin de respecter la demande de l'ASN, EDF prévoit de mettre en œuvre les mesures compensatoires suivantes :

- « dès que l'épaisseur de corrosion atteint 108 μm , la tranche est mise à l'arrêt ;
- à partir de 80 μm d'épaisseur de corrosion, afin de limiter la probabilité ou les conséquences d'un accident d'éjection de grappe,
 - o le fonctionnement de la tranche en réglage secondaire de fréquence est exclu,
 - o le fonctionnement programmé avec réglage primaire de fréquence (limité à 2 %) et à puissance intermédiaire est strictement limité à la réalisation des essais périodiques et aux situations rendues nécessaires par les besoins d'équilibre du réseau et de maintien de marges de sûreté du système électrique. Les tranches concernées ne seront sollicitées qu'une fois toutes les autres tranches en service déjà ajustées et uniquement si d'autres ajustements sont encore nécessaires ».

Toutefois, EDF prévoit de ne pas prendre en compte les assemblages à gainage Zircaloy-4 rechargés pour un cycle supplémentaire par rapport à leur gestion prévisionnelle, pour la détermination de l'instant d'atteinte du seuil en corrosion de 80 μm . En tout état de cause, les crayons de ces assemblages ne dépasseront pas l'épaisseur de corrosion maximale de 108 μm .

EDF appelle « réacteurs en contrainte Zircalloy-4 » les réacteurs pour lesquels l'avancement dans le cycle est supérieur à celui qu'il a évalué à l'égard du seuil de 80 μm .

Afin de statuer sur le caractère acceptable et suffisant des mesures prévues par l'exploitant, l'IRSN a analysé :

- la méthode de détermination de l'avancement dans le cycle correspondant à l'atteinte des seuils en épaisseur de corrosion de 80 et 108 μm ;
- l'impact du réglage primaire de fréquence et du suivi de charge sur l'insertion des groupes de grappes de commande et donc sur les conséquences de l'accident d'éjection de grappes, pour les réacteurs en contrainte Zircalloy-4 ;

- l'impact des essais périodiques des chapitres IX (consacré aux essais périodiques) et X (consacré aux essais physiques) des règles générales d'exploitation (RGE) sur l'insertion des groupes de grappes de commande ;
- la possibilité de recharger des assemblages dont les crayons de combustible ont un gainage en Zircaloy-4 pour un cycle supplémentaire par rapport à la gestion prévisionnelle de combustible sans pour autant mettre en œuvre les mesures compensatoires d'exploitation ci-dessus ;
- la traçabilité des mesures compensatoires.

Pour ce qui concerne la détermination de l'avancement dans le cycle correspondant à l'atteinte des seuils en épaisseur de corrosion de 80 et 108 μm en valeur moyenne azimutale, EDF propose d'utiliser la démarche usuelle qui s'appuie sur l'utilisation d'historiques de puissance² enveloppes associés au modèle de corrosion enveloppe du logiciel CYRANO3 version 3.4 pour déterminer le taux de combustion correspondant à l'atteinte de l'épaisseur de corrosion « seuil » par le crayon le plus pénalisant. EDF a réévalué le modèle enveloppe de corrosion du logiciel CYRANO3 version 3.4 pour prendre en compte le retour d'expérience récent du palier 1300 MWe. Pour cela, EDF a développé un modèle enveloppe spécifique à ce palier permettant de garantir un taux de couverture des points de la base de validation supérieur à 95 %. L'IRSN considère que ce modèle enveloppe est acceptable.

EDF a déterminé de nouveaux historiques de puissance enveloppes spécifiques aux gestions de combustible GEMMES (en vigueur sur les réacteurs de 1300 MWe), GARANCE (900 MWe de type CPY) et CYCLADES (900 MWe de type CPO) et en a déduit un taux de combustion correspondant à une épaisseur de corrosion de 108 μm . Ces historiques de puissance sont également utilisés pour évaluer l'avancement dans le cycle correspondant à l'atteinte d'une épaisseur de corrosion de 80 μm pour le crayon le plus pénalisant du cœur. **L'IRSN considère que la démarche de détermination de l'avancement dans le cycle correspondant à l'atteinte d'une épaisseur de corrosion de 80 et 108 μm , fondée sur des historiques de puissance enveloppe et un modèle de corrosion enveloppe, est satisfaisante.**

Pour ce qui concerne l'impact du réglage primaire de fréquence et du suivi de charge sur l'insertion des groupes de grappes de commande, l'IRSN rappelle que les conséquences de l'EDG sont d'autant plus importantes que la grappe éjectée est fortement insérée dans l'assemblage de combustible dans l'état initial de l'accident. Compte tenu des mesures compensatoires proposées, EDF prévoit de conserver la possibilité de réaliser du réglage primaire de fréquence et du suivi de charge pour les réacteurs en contraintes Zircaloy-4. L'IRSN n'a pas de remarque concernant la possibilité de fonctionnement en réglage primaire de fréquence des réacteurs en contraintes Zircaloy-4 en raison du faible impact de ce mode de fonctionnement sur l'insertion des groupes de régulation.

En revanche, le suivi de charge, ainsi que les transitoires de charge programmés et fortuits, conduisent en général à de fortes insertions de groupes indispensables au contrôle de la distribution axiale de puissance, augmentant de fait la réactivité apportée en cas d'éjection de l'une de ces grappes. Cependant, ce mode de fonctionnement sera limité par EDF autant que possible pour les réacteurs en contraintes Zircaloy-4, si bien que le fonctionnement de ces réacteurs en suivi de charge

² L'historique de puissance enveloppe décrit la puissance linéique maximale vue par le crayon le plus pénalisant du cœur au cours de son irradiation en réacteur.

est estimé à quelques dizaines d'heures par réacteur et par cycle. Compte tenu de la faible probabilité d'occurrence de l'accident d'éjection de grappe pendant ces quelques dizaines d'heures, l'IRSN estime que la réalisation du suivi de charge rendu nécessaire par la gestion du réseau (situations de faible demande nette) et la réalisation de transitoires sont acceptables dans la mesure où elles restent extrêmement limitées (quelques dizaines d'heures par réacteur et par an). EDF s'est engagé à transmettre annuellement un bilan des fréquences et des durées de mise en œuvre du réglage primaire de fréquence et du suivi de charge des réacteurs en contraintes Zircaloy-4.

EDF a indiqué dans un premier temps que le réglage secondaire et le réglage primaire maximum (7 %Pn) étaient exclus pour les réacteurs en contraintes Zircaloy-4. Cependant, EDF a ultérieurement précisé que ces modes de fonctionnement pourraient être envisagés si le nombre de réacteurs concernés est supérieur à neuf simultanément. Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation n°1.

L'IRSN considère que la réduction de la durée de fonctionnement à de faibles niveaux de puissance en suivi de charge permet de limiter les possibilités d'apparition d'un accident d'éjection de grappe. En effet le nombre de grappes insérées à un niveau de puissance proche de la puissance nominale est moins important qu'à faible niveau de puissance. De même, le fonctionnement en réglage primaire de fréquence, avec exclusion du réglage secondaire tant que le nombre de réacteurs en contrainte Zircaloy-4 est inférieur à neuf, permet de limiter les conséquences d'un accident d'éjection de grappe puisque ce fonctionnement a pour effet de réduire la profondeur d'insertion des groupes de régulation.

Vis-à-vis des essais des chapitres IX et X des RGE, l'essai d'îlotage, de périodicité quatre cycles, consiste à ouvrir le disjoncteur de la ligne principale 400 kV alors que le réacteur est à puissance nominale. Le réacteur se met alors à produire via son alternateur uniquement l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement. Il se produit ainsi un transitoire de 100 %Pn à 30 %Pn environ en quelques secondes. L'analyse de la règle associée à cet essai montre qu'il est précisé que l' « *on préférera le réaliser entre 10 et 60 % d'avancement du cycle* », recommandation qui n'est cependant en rien prescriptive. **Compte tenu de la sollicitation importante des gaines des crayons de combustible au cours d'un tel transitoire de charge**, l'IRSN formule la recommandation n°1.

Les autres essais des chapitres IX et X des RGE entraînant ou nécessitant des insertions de grappes ou de groupes n'appellent pas de remarques de la part de l'IRSN, car ces insertions sont de faible ampleur ou les durées de ces insertions sont faibles et donc acceptables par rapport à la probabilité de survenue d'un accident d'éjection de grappe (accident de catégorie 4).

Pour ce qui concerne le rechargement d'assemblages à gainage Zircaloy-4 pour un cycle supplémentaire par rapport à leur gestion prévisionnelle, il est à noter qu'EDF prévoit de ne pas prendre en compte ces assemblages pour la détermination de l'instant d'atteinte du seuil en corrosion de 80 µm correspondant à la mise en œuvre des mesures compensatoires. EDF considère que le rechargement de ces assemblages est nécessaire car les gestions CYCLADES, Parité MOX et GEMMES ne génèrent pas d'assemblages pour les réserves de gestion, assemblages qui sont pourtant nécessaires à l'exploitation des réacteurs. EDF a identifié des positions « protégées » dans le cœur permettant de limiter le dépôt d'enthalpie pour ces assemblages en cas d'accident d'éjection de grappe. De plus, EDF prévoit de limiter, autant que faire se peut, l'introduction de ces assemblages effectuant un cycle supplémentaire. Malgré le positionnement de ces assemblages en positions « protégées », l'IRSN

considère qu'il n'est pas possible d'exclure totalement le risque de rupture de crayons appartenant à ces assemblages, voire d'agression des crayons voisins, en cas d'accident d'éjection de grappe du fait du risque de desquamation de la gaine des crayons.

Cependant, le fait de considérer les assemblages effectuant un cycle supplémentaire pour déclencher les mesures compensatoires augmenterait significativement le nombre de réacteurs en contraintes de pilotage Zircaloy-4. L'IRSN rappelle qu'EDF estime que cette situation pourrait, le cas échéant, nuire à l'équilibre offre-demande du système électrique et conduire potentiellement EDF à devoir relaxer les mesures compensatoires appliquées aux réacteurs comportant un nombre important d'assemblages dont les crayons dépassent 80 µm d'épaisseur de corrosion. Aussi, selon l'IRSN, la non-prise en compte des mesures compensatoires en cas de dépassement des 80 µm pour un nombre réduit d'assemblages effectuant un cycle supplémentaire dans des positions « protégées » du cœur est acceptable dans la mesure où elle permet de mettre en œuvre des contraintes plus importantes sur le fonctionnement de l'ensemble des réacteurs concernés par les mesures compensatoires. Il convient toutefois de limiter le nombre d'assemblages concernés. À ce sujet, l'IRSN formule la recommandation n°2.

Pour ce qui concerne la traçabilité de l'ensemble des mesures compensatoires proposées par EDF, l'IRSN considère que l'intégration dans les dossiers spécifiques d'évaluations de la sûreté des recharges de combustible d'éléments indiquant :

- les historiques de puissance utilisés pour la détermination de l'atteinte des seuils de corrosion de 80 et 108 µm ;
- l'avancement dans le cycle correspondant à l'atteinte de ces seuils ;
- les mesures compensatoires à respecter à l'atteinte de ces seuils ;
- le traitement des assemblages effectuant un cycle supplémentaire par rapport à leur gestion prévisionnelle ;

est nécessaire. L'IRSN considère que les propositions d'EDF relatives à ces éléments sont acceptables.

En conclusion, l'IRSN estime que les mesures compensatoires proposées par EDF lorsque des crayons de combustible gainés en Zircaloy-4 sont présents dans le cœur d'un réacteur et présentent une épaisseur de corrosion comprise entre 80 µm et 108 µm sont acceptables et suffisantes. En tenant compte des contraintes liées notamment à l'exploitation du réseau électrique, elles permettent de limiter les possibilités d'apparition ou les conséquences d'un accident d'éjection de grappe.

Pour le Directeur général, par ordre,

Frédéric MÉNAGE

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

Recommandations et observation

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que l'essai d'îlotage soit réalisé avant la mise en œuvre des contraintes Zircaloy-4.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF limite la présence d'assemblages effectuant un cycle supplémentaire par rapport à leur gestion prévisionnelle à un nombre maximal de huit assemblages pour la gestion de combustible GEMMES et de 12 assemblages pour les gestions de combustibles GARANCE, CYCLADES et Parité-MOX. Ces assemblages seront placés dans des positions permettant de limiter leur sollicitation neutronique en cas d'accident d'éjection de grappe.

Observation n° 1

Dans l'hypothèse où l'équilibre offre-demande du système électrique nécessiterait un fonctionnement en réglage secondaire ou en réglage primaire maximum de réacteurs en contraintes Zircaloy-4, l'IRSN considère que l'exploitant devrait procéder à une information immédiate de l'ASN.